干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.04.14

半干旱区沙地沙蒿生物量及根系分布特征研究①

赵　明[1,2]，　王文科[1,2]，　王周锋[1,2]，　陈　立[1,2]，　马稚桐[1,2]，　宋　浩[1,2]

（1　长安大学环境科学与工程学院，陕西　西安　710054；
2　旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室，陕西　西安　710054）

摘　要： 沙蒿是中国西北半干旱地区主要的固沙植物，其根系分布影响包气带水分运移过程，准确的植被特征和根系密度分布对根系吸水模型的建立十分重要。采用整体挖掘法获取不同层位的根系和根际土壤含水量，引入冠级和龄级的概念对沙蒿根系分布特征进行研究。分析结果表明：沙蒿种群以低龄级沙蒿占优，其根系生物量随龄级呈'S'型增长；根系长度分布和均一化根系密度分布均符合对数正态分布，最大值出现在浅层土壤 20 cm 处；沙蒿生长不依赖于地下水，其根系主要利用包气带中的水分，持续干旱条件下，为满足蒸腾作用根系出现两种调节方式：(1)横向生长增加根系量，利用横向土壤剖面的水分。(2)浅层根区由于水分胁迫造成的吸水量减少由深部相对湿润的根区补偿。因此沙蒿根系吸水模型中的根系密度分布函数应为对数正态分布，且吸水过程不仅依赖于根系密度分布，同时受土壤水分的影响。

关　键　词： 半干旱区；沙蒿；龄级；根系分布

中图分类号： Q948.12.1；S152.7.5　**文献标识码：** A　**文章编号：**

水分是旱区最重要的环境因子，是影响植物生存、生长发育和生态环境的关键因素。地下水位动态、包气带水分状态等均会影响植物群落分布格局[1]。研究沙生植物根系空间分布特征对研究旱区植被耗水机制及其影响下的包气带水分运移规律，生态脆弱性评价和保护等具有非常重要的作用[2-3]。土—根界面是植被与土壤进行物质和能量交换的主要通道，根系的形态和分布直接反映了植被对立地条件的利用状况，对植被生长起决定性作用[4]。尤其是细根（直径 <2 mm），具有巨大的吸收表面积，在陆地生态系统能量流动和物质循环中扮演重要角色[5]。沙蒿是广泛分布于我国干旱、半干旱地区最典型的沙生植物，具有根系发达、耐干旱等特点，是重要的固沙植物[6]。尽管旱生植物根系分布特征已有较多的研究[7-8]，但针对沙蒿根系分布特征的研究还不是很完善，尚未建立明确的根系密度分布模型并阐明根系与土壤水分的关系[9-11]。

根系吸水在地下水—土壤—植物—大气连续系统的水文过程中扮演重要角色。模拟根系吸水时，根系吸水项 $S(z,t)$ 被引入 Richards 方程来描述植被影响下的包气带水分运移。随着植物根系吸水模型的发展，出现了把潜在蒸腾量在深度上按根系密度分配的半理论半经验模型，从而引入了根系密度模型[12]。这些模型间的差异就在于把潜在蒸腾量按不同的根系密度分布函数分配到根区。目前根系密度函数可分为线型[13-16]、非线型[17-20]、动态根系生长模型等[21-23]。根系模型发展还主要停留在根系指标与非环境因素（如时间、土层深度）的统计拟合关系，缺少对与环境因子之间关系的分析。因此，本文通过研究沙蒿种群特征和生物量来确立根系密度分布特征及其与含水率之间的关系，对于揭示旱区生态耗水机制和植被影响下的水分运移规律都具有非常重大的意义。

1　研究区概况

研究区位于内蒙古乌审旗嘎鲁图镇，属鄂尔多斯盆地北缘，毛乌素沙地腹地（图 1）。属典型干旱—半干旱气候，年际和日间温差大、湿度小、降雨量稀少且分布不均、蒸发强烈，研究区多年平均降水量 200～400mm，主要集中在 7～9月；年潜在蒸散

① 收稿日期：2018-02-08；　修订日期：2018-05-24
基金项目：国家自然科学基金重点项目（41230314）
作者简介：赵明（1992-），男，河南商丘人，博士研究生，主要从事生态水文地质学的研究. E-mail:934517520@qq.com
通讯作者：王文科（1962-），男，陕西岐山人，教授，主要从事旱区地下水资源合理开发与生态保护研究. E-mail：wenkew@chd.edu.cn

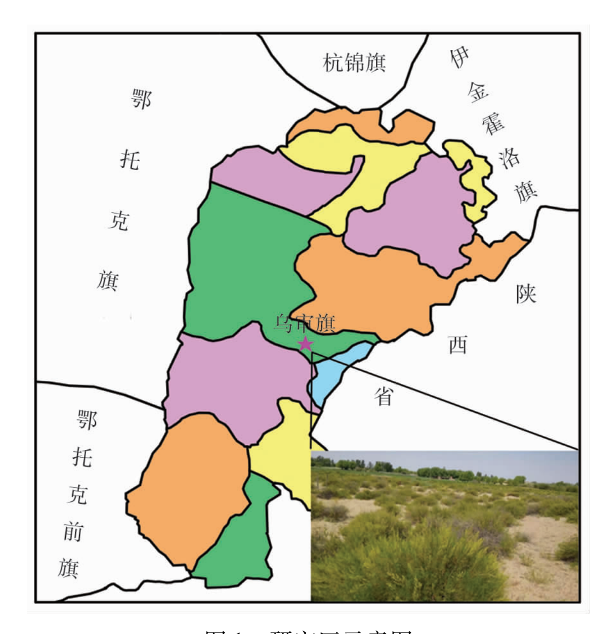


图 1　研究区示意图

Fig. 1　Study area diagram

发量在 1 900 ~ 2 500 mm 之间;地表、地下水资源是限制该区域社会经济发展和生态环境的重要因子。

研究区的植被类型主要包括荒漠灌丛、沙生植被、草甸植被等。其中沙生植被占主导地位,包括沙蒿(*Artemisa arenaria* DC)、沙柳(*Salix cheilonhila*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphyla*)、柠条(*Caragana intermedia*)等。沙蒿在西北地区广范分布,内蒙古境内占到 86.83 %,面积高达 300×10^4 hm^2[23],为更好研究毛乌素沙地植被特征,选其作为研究对象。

2　研究方法

野外调查阶段于 2016 年 8 月 2 ~ 6 日完成,主要内容包括地下水动态观测、沙蒿样本调查与采集和沙蒿根际土壤样品的采集。

水位动态监测:通过在研究区建立一个地下水位观测孔,放置 Mini Diver 自记水位计记录地下水位波动,监测频率为 5 min / 1 次。采样期间地下水位埋深为 235 cm。

沙蒿样方调查:在研究区随机选取两个样方,并对样方内的植株逐棵调查,记录种名、株高、冠幅等基本数据。

根系样本采集:根据株高和冠幅选取大小不同的 10 株沙蒿;通过人工整体挖掘法(挖掘土芯直径为冠幅的 2 倍[24]),分层取样(10 cm 间隔),用 20 目筛网分选根系以保证根样的完整性,直至无根系出现,用毛刷刷去杂土并称其鲜重;在实验室用游标卡尺测量根系的直径,按直径大小分为 5 个等级,分别为微细根($\Phi < 1$ mm)、细根(1 mm $\leqslant \Phi < 2$ mm)、小根(2 mm $\leqslant \Phi < 5$ mm)、中根(5 mm $\leqslant \Phi < 10$ mm)、粗根(10 mm $\leqslant \Phi$)[25];测量并统计不同径级的根系总长,放入烘箱在 86 ℃ 下烘干 24 h,用电子称精确测量其生物量干重。

土壤水分测定:沙地沙蒿取样点位于均质的风积沙沙丘,厚度超过 3 m。在距植株中心的 10 cm 处垂向分层取土样,分层区间为:0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm、40 ~ 50 cm、50 ~ 60 cm,实验室测其湿重,放入烘箱在 108 ℃下烘 24 h,测其干重,通过干湿重量变化计算土壤质量含水率。

3　结果分析

3.1　沙蒿种群分布特征

利用体积结构理论划分沙蒿种群冠级结构:年龄结构是种群的重要特征,但由于多年生灌木生长的特殊性,动态生命历程不能准确反映其种群的特征;静态生命表是反映种群多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间,虽不是对这一种群全部生活史的追踪[26],但能够反映某一特定时间下植被的种群分布特征。因此采用体积结构代替年龄结构,即"空间代替时间"的研究方法[27]。利用其高度和冠幅的数据估算出其体积,再计算出体积的立方根 M_1 值,定义 M_1 为平均冠径,根据 M_1 值将沙蒿植株进行分级,每级间隔 10 cm,即:0 ~ 10 cm 为第 1 冠级,10 ~ 20 cm 为第 2 冠级,…(上限排外),共划分 8 个冠级。第 1 冠级对应第 Ⅰ 龄级,第 2 冠级对应第 Ⅱ 龄级,以此类推,得出沙蒿龄级结构见表 1。

根据两个样方沙蒿样本统计数据,分析沙蒿数量随龄级的样本分布特征,从图 2 可以看出,低龄级

表 1　沙蒿的龄级结构分布

Tab. 1　Distribution ofstatic age structure of *Artemisa arenaria* DC

龄级	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
冠幅 / cm	20	33	40	51,62	72,81	98	114	126
株高 / cm	27.5	36	47.5	51,58	60,51	64	71	80
M_1	17.9	27.4	34.1	41.1,48.9	54.6,56.0	68.5	78.5	87.3

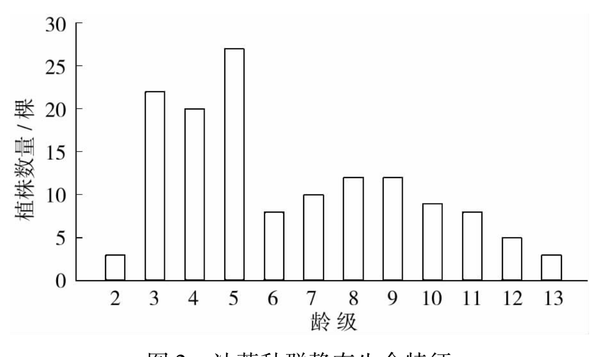


图 2 沙蒿种群静态生命特征

Fig. 2 Static life characteristics of *Artemisa arenaria* DC

包括第 3、4、5 龄级(采样时间不在植物的生长初期,故第 2 龄级除外)种群个体数量占优势,约占该种群个体总数的 50 %,种群中大量低龄级植株的存在,是维持沙蒿种群稳定发展演替的基础;中龄级包括第 6、7、8、9 龄级的种群个体数量相对稳定且明显低于低龄级种群数量,从第 10 龄级之后的高龄级种群数量呈下降趋势。随着个体竞争和环境胁迫尤其是大气胁迫和水分胁迫的影响,沙蒿进入中老龄级后,个体数量逐渐减少。

3.2 沙蒿生物量统计分析

根系研究主要在于根系数量指标的表达,目前已经建立了一系列的统计模型[28],研究得出沙蒿根系分布主要集中在 0 ~ 60 cm[10]。从图 3a、3b 可以看出沙蒿根系总干重和总长度随平均冠径都呈现‘S’型分布,可划分为幼苗期、中龄期、近熟期三个阶段[29]。幼苗期沙蒿处于生长初期,蒸腾需水量小,根系处于萌生阶段,生物量相应很小;中龄期沙蒿新陈代谢和蒸腾作用增强,根系生物量快速增长以提高根系吸水量;近熟期沙蒿蒸腾量受土壤可利用水的限制不再增加,沙蒿根系生物量达到最大值并趋于稳定[11,30]。

统计分析表明不同龄级沙蒿的地上部分和地下部分的生物量属于典型的异速生长,符合幂函数 $Y = a + b \cdot X^c$ 形式(图 4a)。利用非线性回归分析法对异速生长模型中的参数 a、b 和 c 进行拟合得到沙蒿根冠异速生长模型为:$Y = 1.013 \cdot X^{1.144} - 1.996$,$R^2 = 0.9515$。

从沙蒿的根冠比(图 4b)可以看出,平均冠径低于 50 cm 时,根冠比达到 0.8 ~ 0.9;平均冠径超过 50 cm 时,根冠比为 0.4 ~ 0.5 左右。表明低龄级沙蒿处于快速生长阶段,对水分需求强烈,因此根系发育增速高于冠层生长,根冠比较大;随着植物的生长,蒸腾作用加剧,土壤水分胁迫限制了根系的生长,冠层生长逐渐超过根系,根冠比减小[31]。

3.3 沙蒿根系分布特征

统计沙蒿样本不同土壤剖面深度的根系长度,取其平均值,结果如图 5a 显示根系长度随埋深符合对数正态函数分布:

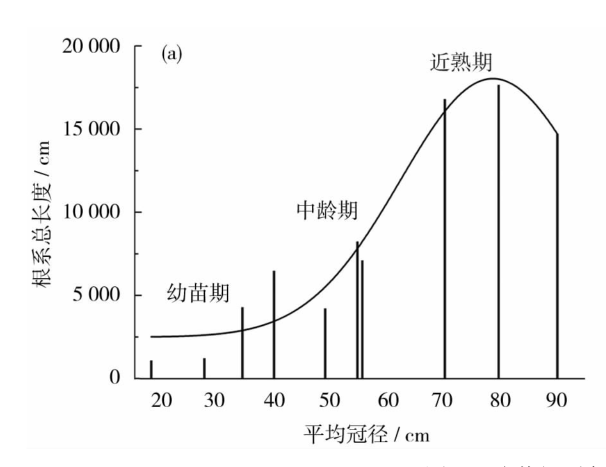
$$y = \alpha \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x)/\mu]^2}{2\sigma^2}\right) + \beta \quad (1)$$

拟合后得到如下参数:

$\sigma = 0.486$;$\mu = 25.232$;$\alpha = 88\ 169.235$;

$\beta = -76.113$;$R^2 = 0.98741$

在蒸发作用下,表层土壤含水率很低导致根系分布量很少;随着深度的加深,土壤水分增加,根系长度也随之增加,在 20 cm 处根系量达到最大值;由于根系内源性(基因、向重性等)和外源性(土壤水分、氧含量等)的因素导致深层根区的根系量较少,60 cm 以下的土层中基本没有根系分布。



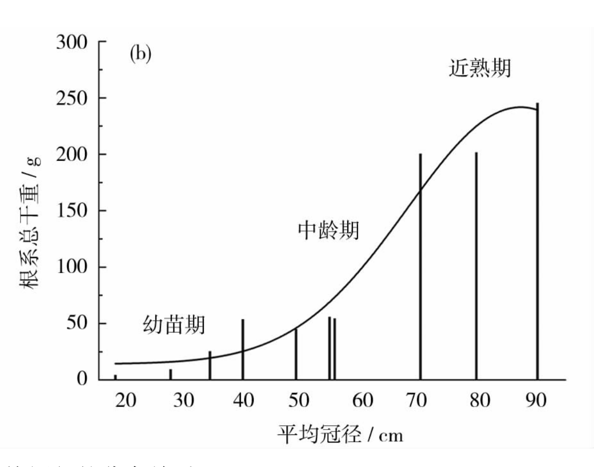


图 3 沙蒿根系与平均冠径的分布关系

Fig. 3 Relation between root system and the average crown diameter of *Artemisa arenaria* DC

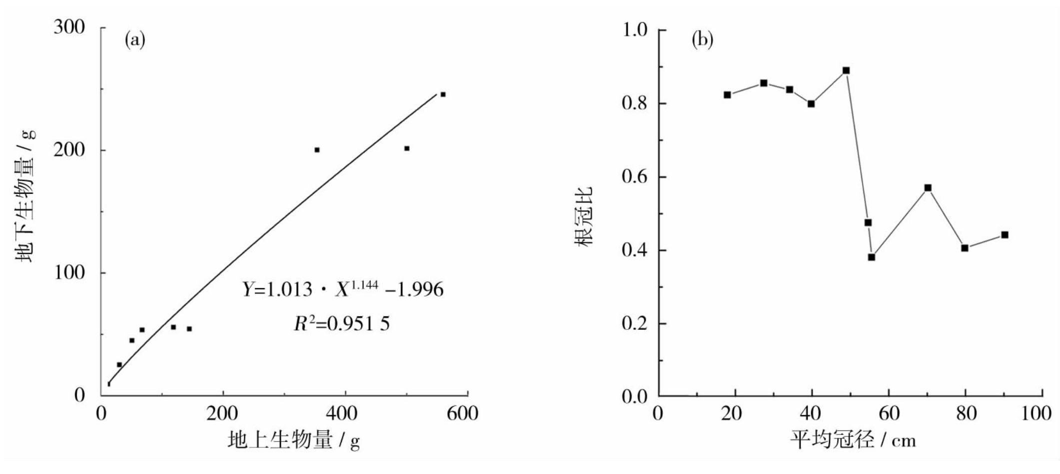


图 4　沙蒿根—冠生物量关系

Fig. 4　Relation between root system biomass and canopy biomass of *Artemisa arenaria* DC

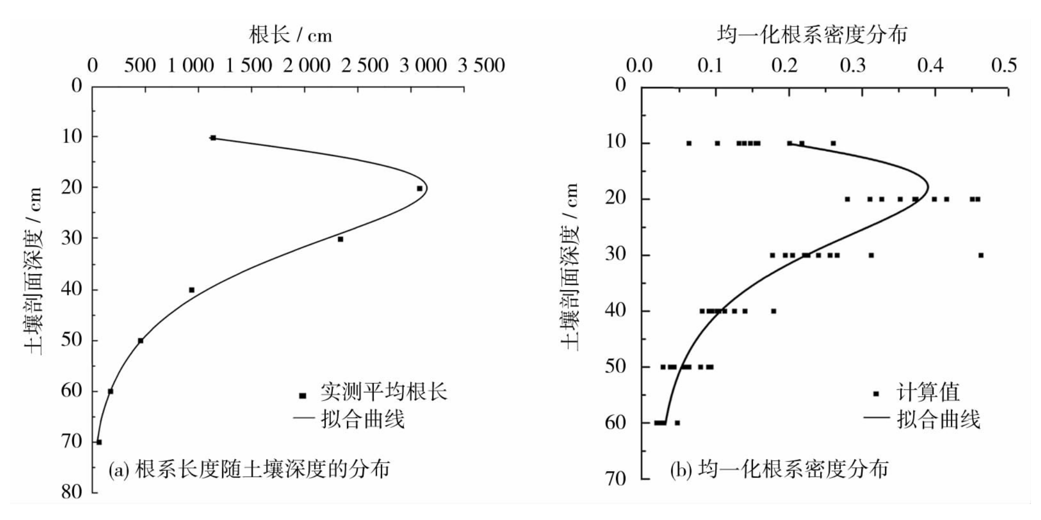


图 5　沙蒿根系剖面分布

Fig. 5　Profile distribution of *Artemisa arenaria* DC root system

不同龄级间的根系长度数量级差别较大，采用归一化根系分布能全面的描述沙蒿的根系分布特征。由于不同龄级的均一化根系密度分布有一定的变异性，所以采用平均值消除个体间的差异，结果显示归一化根系分布同样符合对数正态分布（图 5b），拟合后得到如下参数：

$$\sigma = 0.481;\ \mu = 22.403;\ \alpha = 8.998;$$

$$\beta = 0.017;\ R^2 = 0.968\ 16$$

沙蒿根系主要集中在土壤浅层表明根系主要利用包气带水分，发生降雨时能有效截留并利用填充到包气带的降水。不同龄级的沙蒿根系密度分布都呈现对数正态分布，而非其他线性或非线性函数；均一化的根系密度分布不仅忽略沙蒿个体差异带来的影响，而且为根系吸水模型提供了准确适用的根系密度分布函数。

3.4　吸水根系与土壤含水量的关系

研究发现沙蒿多在地下水位埋深大于 1.0 m 的沙丘分布，进一步证明根系主要吸收包气带中的水分。在土壤湿润的情况下，根系吸水主要发生在根系密度较大的浅部根区；在持续干旱的情况下，土壤可利用水分减少，沙蒿根系通过以下两种方式提高吸水量以满足潜在蒸腾量：（1）增加横向根系密度，吸收横向剖面的土壤水分；（2）浅层根区由于水分胁迫造成的吸水量减少由深部含水率高、水分胁迫小的根区进行补偿。从图 6 可以看出，随着龄级的增加，沙蒿蒸腾量增加，吸水根系长度逐渐增加，深部根区的水分出现“水陷”现象，表明根系更多地利用深部根区的吸水量。

在干旱、半干旱地区，持续的干旱造成频现的土

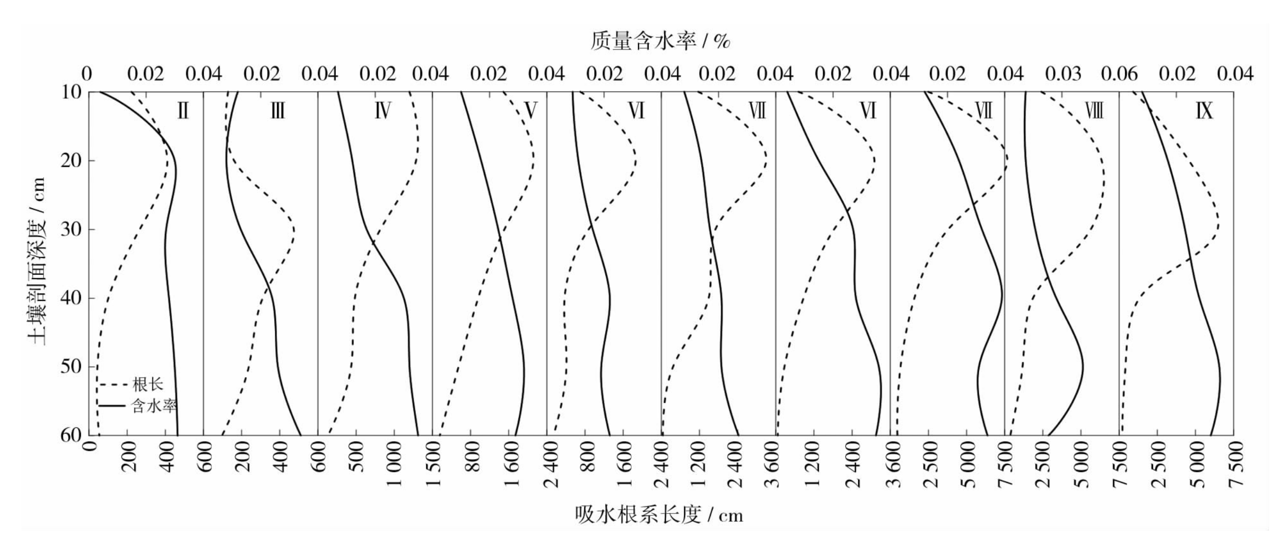


图 6　不同龄级的吸水根系与剖面含水率

Fig. 6　Root system of different static ages with soil water content in profile

壤水分胁迫,根系吸水量不再简单地依赖于根系密度分布,而是根据土壤水分状态自动调节吸水部位。当发生水分胁迫时,根系分布稀少但相对湿润的深部根区吸水量的增加补偿相对干旱根区吸水量的减少;当发生降雨时,吸水部位重新回到根系密度较大的浅部根区利用滞留的降水[32-34]。根系“追踪”水的生物物理过程提高了对包气带水的利用效率,同时使根系吸水过程变得复杂。

4　结 论

本研究采用冠级和龄级的概念,用静态体积代替动态时间的方法研究某一特定时间下沙地沙蒿的生物量和根系分布特征,为根系吸水模型提供科学的根系分布函数并完善半干旱地区典型植被特征研究。主要结论如下:

(1) 沙蒿根系总长度和总干重随冠级呈现‘S’型增长。统计分析表明沙蒿生物量属于典型的异速生长,平均冠径小于 50 cm 时,根冠比达到 0.8 ~ 0.9;平均冠径超过 50 cm 时,根冠比减小至 0.4 ~ 0.5,反映了旱区植被为适应强烈蒸腾和稀缺包气带水分所具有的特征。

(2) 沙蒿根系长度符合对数正态分布,最大值出现在土壤浅层(20 cm)处,60 cm 以下的土层基本没有分布;归一化根系密度分布同样符合对数正态分布,且可忽略个体间的差异,为建立沙蒿根系吸水模型提供准确的根系密度分布函数。

(3) 沙蒿多在地下水位埋深大于 1.0 m 的沙丘区分布,根系主要分布在浅层土壤,说明沙蒿主要利用包气带水;在持续干旱条件下,土壤水分出于胁迫状态,为满足蒸腾的需求根系出现两种调节方式:增加横向根系量,提高横向剖面水分的吸收;浅层根区由于水分胁迫造成的吸水减少由深部根区补偿;因此,吸水模型不能仅依赖于根系密度分布,还要考虑土壤水分状态。

参考文献(References)

[1] 程东会,王文科,侯光才,等. 毛乌素沙地植被与地下水关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2012,42(1):184 - 189. [CHENG Donghui, WANG Wenke, HOU Guangcai, et al. Relationship between vegetation and groundwater in Mu Us Desert[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2012,42(1):184 - 189.]

[2] 杨泽元,王文科,黄金廷,等. 陕北风沙滩地区生态安全地下水位埋深研究[J]. 西北农林科技大学学报,2006,34(8):67 - 74. [YANG Zeyuan, WANG Wenke, HUANG Jinting, et al. Research on buried depth of eco-safety about groundwater tablein the blown-sand region of the northern Shaanxi Province[J]. Journal of Northwest Sci-Tech Univ of Agri and For (Nat Sci Ed),2006,34(8):67 - 74.]

[3] WANG Wenke, ZHANG Zaiyong, YEH T C J, et al. Flow dynamics in vadose zones with and without vegetation in an arid region[J]. Advances in Water Resources,2017,106:68 - 79.

[4] 崔秀萍,刘果厚,张存厚. 浑善达克沙地黄柳人工林根系分布及生物量研究[J]. 中国沙漠,2011,31(2):447 - 450. [CUI Xiuping, LIU Guohou, ZHANG Cunhou. Root distribution and biomass of *Salix gordejevii* in Hunshandake Sandland[J]. Journal of Desert Research,2011,31(2):447 - 450.]

[5] 张小全,吴可红,MURACH Dieter. 树木细根生产与周转研究方法评述[J]. 生态学报,2000,20(5):875 - 883. [ZHANG Xiaoquan, WU Kehong, MURACH Dieter. A review of methods for

fine-root production and turnover of trees[J]. Acta Ecolojica Sinica,2000,20(5):875－883.]

[6] 孙建华. 毛乌素沙地黑沙蒿根系分布及其生境适应性的研究[C]//西北农林科技大学,2008.[SUN Jianhua. Study on root distribution and habitat flexibility of *Artemisa ordosica* of Mu Us Sandy Land[C]//Northwest A & F University,2008.]

[7] 曾凡江,郭海峰,刘波,等. 多枝柽柳和疏叶骆驼刺幼苗生物量分配及根系分布特征[J]. 干旱区地理,2010,33(1):59－64.[ZENG Fanjiang,GUO Haifeng,LIU Bo,et al. Characteristics of biomass allocation and root distribution of *Tamarix ramosissima* Ledeb and *Alhagi sparsifolia* Shap seedlings[J]. Arid Land Geography,2010,33(1):59－64.]

[8] 张莉,吴斌,丁国栋,等. 毛乌素沙地沙柳与柠条根系分布特征对比[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(3):158－161.[ZHANG Li,WU Bin,DING Guodong,et al. Root distribution characteristics of *Salix psammophyla* and *Caragana korshinskii* in Mu Us Sand Land[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2010,24(3):158－161.]

[9] 杨峰,刘立,王文科,等. 毛乌素沙地不同地貌下沙柳根系分布特征研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(25):1059－1061.[YANG Feng,LIU Li,WANG Wenke,et al. Distribution characteristics comparison of *Salix psammophila* roots under different landforms in Mu Us Desert[J]. Agricultural Science & Technology,2011,39(25):1059－1061.]

[10] 王辉,孙栋元,刘丽霞,等. 干旱荒漠区沙蒿种群根系生态特征研究[J]. 水土保持学报,2007,21(1):99－102.[WANG Hui,SUN Dongyuan,LIU Lixia,et al. Ecological characteristics of roots of *Artemisa arenaria* population in arid desert area[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2007,21(1):99－102.]

[11] 康博文,刘建军,孙建华,等. 陕北毛乌素沙漠黑沙蒿根系分布特征研究[J]. 水土保持研究,2010,17(4):119－123.[KANG Bowen,LIU Jianjun,SUN Jianhua,et al. Study on root distribution of *Artemisa ordosica* in Mu Us Sandy Land[J]. Research of Soil and Water Conservation. 2010,17(4):119－123.]

[12] GARDNER W R. Dynamic aspects of water availability to plants[J]. Soil Science,1960,89(2):63－73.

[13] MOLZ F J,REMSON I. Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants[J]. Water Resources Research,1970,6:1346－1356.

[14] FEDDES R A,KOWALIK P. Simulation of field water uptake by plants using a soil water dependent root extraction function[J]. Journal of Hydrology,1976,31:13－26.

[15] PRASAD R. Linear root water uptake model[J]. Journal of Hydrology,1988,99:297－306.

[16] MOLZ F J,REMSON I. Application of an extraction-term model to the study of moisture flow to plant roots [J]. Agronomy Journal,1971,63(1):72－77.

[17] LI K Y,BOISVERT J B,JONG R D. An exponential root-water-uptake-model[J]. Can. J. Soil Sci. 1999,79,333－343.

[18] LI K Y,JONGR D,BOISVERT J B. An exponential root-water-uptake model with water stress compensation[J]. Journal of Hydrology,2000,252:189－204.

[19] SHANKAR V,PRASAD K S H,OJHA C S P,et al. A model for nonlinear root water uptake parameter[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering,2012,138(10):905－917.

[20] OJHA C S P,RAI A K. Nonlinear root-water uptake model[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering,1996,122(4):198－202.

[21] 邵明安,杨文治,李玉山. 植物根吸收土壤水分的数学模型[J]. 土壤学报,1987,24(4):295－304.[SHAO Ming'an,YANG Wenzhi,LI Yushan. Mathematical model of soil moisture absorption by plant roots[J]. Acta Pedologica Sinica,1987,24(4):295－304.]

[22] YADAV B K,MATHUR S,SIEBEL M A. Soil moisture dynamics modeling considering the root compensation mechanism for water uptake by plants[J]. Journal of Hydrologic Engineering,2009,14(9):913－922.

[23] YADAV B K,MATHUR S,SIEBEL M A. Soil moisture flow modeling with water uptake by plants (wheat) under varying soil and moisture conditions[J]. Irrig Drain Eng 10. 1061 /(ASCE)IR. 2009,375－381.

[24] 王立群,陈世璜,郝利忠. 黑沙蒿生态生物学特性及群落地理分布规律相关性研究[J]. 2002,16(4):95－98.[WANG Liqun,CHEN Shihuang,HAO Lizhong. The study of ecological biological characters & geological distribution law of *Artemisia ordosica* Krasch[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2002,16(4):95－98.]

[25] 伯姆 W. 根系研究方法[M]. 北京:科学出版社,1985:42－49.[BAUM W. Root research method[M]. Beijing:Science Press,1985:42－49.]

[26] 卢小妹,唐进年,陈英,等. 石羊河中下游沙蒿种群年龄结构与动态分析[J]. 中国农学通报,2015,31(1):53－57.[LU Xiaomei,TANG Jinnian, CHEN Ying,et al. Population age structure and dynamic analysis of *Artemisia arenaria* in middle and lower reaches of Shiyang River area[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2015,31(1):53－57.]

[27] 吴承祯,洪伟,谢金寿. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析[J]. 应用生态学报,2000,11(3):333－336.[WU Chengzhen,HONG Wei,XIE Jintao. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2000,11(3):333－336.]

[28] 许常华,李荣平,祁红彦,等. 植物根系模拟进展[J]. 中国农学通报,2014,30(18):18－22.[XU Changhua,LI Rongping,QI Hongyan,et al. Study progress of plant root model[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2014,30(18):18－22.]

[29] 杨承栋,焦如珍. 杉木人工林根际土壤性质变化的研究[J]. 林业科学,1999,35(6):2－9.[YANG Chengdong,JIAO Ruzhen. Research on change of rhizosphere soil properties of Chinese fir plantation [J]. Scientia Silvae Sinicae,1999,35(6):2－9.]

[30] 李凌浩,林鹏. 武夷山甜槠林细根生物量和生长量研究[J]. 应用生态学报,1998,9(4):337－340.[LI Linghao,LIN Peng. Fine root biomass and production of *Castanopsis eyrei* forests in Wuyi Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,1998,9(4):337－340.]

[31] 马凤云,李新荣,龙利群,等. 沙坡头地区人工植被油蒿种群结构与更新的研究[J]. 中国沙漠,2002,22(6):571－575.[MA

Fengyun, LI Xinrong, LONG Liqun, et al. Population structure and regeneration of planted *Artemisia ordocisa* in Shapotou[J]. Journal of Desert Research. 2002, 22(6): 571 – 575.]

[32] ARYA L M, BLAKE G R, FARRELL D A. A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots: III. Rooting characteristics and root extraction of soil water[J]. Soil Sci Soc Proc, 1975, 39: 437 – 444.

[33] JARVIS N. A simple empirical model of root water of root water uptake[J]. Journal of Hydrology, 1989, 107: 57 – 72.

[34] PETER J S, JAMES E A, SIMUNEK J. Simulating root water uptake from a shallow saline groundwater resource[J]. Agricultural Water Management, 2011, 98: 784 – 790.

Biomass of *Artemisia ordosica* in sand land and its root system distribution characteristics in the semiarid regions

ZHAO Ming[1,2], WANG Wen-ke[1,2], WANG Zhou-feng[1,2], CHEN Li[1,2], MA Zhi-tong[1,2], SONG Hao[1,2]

(1 *Environment Technology and Engineering School of Chang'an University*, *Xi'an* 710054, *Shaanxi*, *China*;

2 *Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region*, *Chang'an University*, *Ministry of Education*, *Xi'an* 710054, *Shaanxi*, *China*)

Abstract: The characteristics of root system distribution play a crucial role in root water uptake simulation and the flow dynamic in vadose zone with vegetation in semiarid regions. The linear and simple nonlinear root density distribution models were adopted frequently in the previous researches and most root water uptake models depended on the root system density distribution closely. In order to depict the real *Artemisia ordosica* root system density distribution and its relationship with soil water content, the root biomass and rhizospheric soil moisture were obtained by mining *Artemisia ordosica* roots integrally and were analyzed using the concept of plant crown level and static age level in this study. The results indicated that the *Artemisia ordosica* roots system is in accordance with lognormal distribution, and the uniform root density distribution can not only ignore the difference among *Artemisia ordosica* individuals, but also is of universal applicability. When there is a persistent drought, the reduced root water uptake in shallow root zone by water stress could be compensated by the root water uptake in deep root zone where it is relatively moist. Therefore, the complex biophysics indicates that the root water uptake is not only related to the root system density distribution, but also depends on the water state in vadose zone.

Key words: semiarid region; *Artemisia ordosica*; age class; distribution of rootsystem